

CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA, GEOTECNICA E IDRAULICA DI UN VERSANTE TERRAZZATO CON MURETTI A SECCO: RILIEVI DI CAMPO E STRUMENTAZIONE SPERIMENTALE

Terraced slope field surveys and experimental equipment

F. Preti*, M. Caruso**, A. Dani*, P. Trucchi*, P. Tarolli***

Sommario

La memoria presenta le fasi di progettazione, installazione e messa a punto di strumentazione di campo volta a supportare lo sviluppo di un modello (concettuale e numerico) per l'interpretazione della circolazione idrica in un versante terrazzato e la valutazione degli effetti sulla stabilità di muretti a secco utilizzati come opere di sostegno. Il caso di studio individuato è quello della Fattoria di Lamole (Greve in Chianti, FI, Italia) di particolare interesse sia per la presenza di muretti di origine storica intervallati da altri che sono stati di recente restaurati o costruiti ex-novo, sia per l'intensa attività agricola legata alla coltivazione della vigna a cui i terrazzamenti stessi sono interessati, il che comporta varie possibili sollecitazioni a cui versante e muri possono essere soggetti. Un primo ambito di attività riguarda la caratterizzazione morfologica del versante mediante rilievo con laser scanner terrestre. È stato possibile ottenere un DTM (Digital Terrain Model) di dettaglio mediante il quale calcolare le direzioni di deflusso e l'area drenata, parametri che poi sono stati impiegati per ottenere l'indicatore *RPII* (*Relative Path Impact Index*) (Tarolli et al., 2013). Un secondo filone è dedicato alla caratterizzazione idraulica e meccanica del terreno. Sono previste misure della conducibilità idraulica satura di campo (K_{sf}), con la metodologia Simplified Falling Head (SFH), da svolgersi su allineamenti ortogonali ai muri e su diversi ripiani, mentre la valutazione di coesione e angolo di attrito (criterio di resistenza di Mohr-Coulomb) sarà condotta mediante di prove di taglio diretto in laboratorio su campioni indisturbati e ricostituiti. Un terzo filone riguarda il monitoraggio di una porzione di muro reale potenzialmente soggetta a instabilità. Saranno misurate le spinte agenti sul muro di sostegno, le umidità del terreno lungo una verticale, sia in condizioni sature che non sature, e il livello dell'eventuale falda. Le attività sono sviluppate nella più ampia ottica di offrire un contributo alla salvaguardia delle tradizionali opere di sistemazione e del paesaggio collinare come strumento di controllo e previsione nei confronti del rischio idrogeologico.

* Dipartimento GESAAF (Gestione dei Sistemi Agrari, Alimentari e Forestali), Sezione Ingegneria Agraria, Forestale e dei Biosistemi, Università di Firenze, Sezione Via S. Bonaventura 13, federico.preti@unifi.it

** Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Politecnico di Milano, marco.caruso@mail.polimi.it

*** Dipartimento TESAAF, Università degli Studi di Padova

The paper presents the design and set-up of an experimental campaign which aims at supporting the modeling (conceptual and numerical) of water circulation in a terraced slope and its influence on stability of retaining dry stone walls. The case study is located at "Fattoria di Lamole" (Greve in Chianti, Firenze, Italy). At Lamole site both ancient and recently restored or rebuilt (with different techniques) dry stone walls are present. Furthermore the intense vineyards cultivation makes it very representative in terms of range of external stresses the slope and the wall are subjected to. A first effort is devoted to obtain a high-definition digital terrain model (DTM), by a terrestrial laser scanner. Flow directions and the drainage area have been derived from DTM, and served for the *RPII* index calculation (Tarolli et al., 2013). A second investigation line works towards hydraulic and mechanical characterization of soil. A large number of in situ Simplified Falling Heads (SFH) measurements could provide information about the saturated hydraulic conductivity values. The tests will be carried out along orthogonal alignments with respect to the walls and they will be replicated on different terraces. Direct shear test on undisturbed and reconstituted soil samples will offer an estimation of the Mohr-Coulomb failure envelope parameters (friction angle and cohesion). A reference portion of a dry stone wall will be also monitored. Lateral earth pressure at backfill-retaining wall interface, backfill volumetric water content (both in saturated and unsaturated states) and ground-water level are measured. The survey is developed in the bigger framework of landscape preservation as a way to prevent hydrogeological instabilities and landslide risks.

1. Introduzione

Il paesaggio italiano e di numerose regioni europee è frequentemente interessato dalla presenza di versanti terrazzati con muretti a secco che nascono nel corso dei secoli prioritariamente come sistema di trasformazione dei versanti acclivi allo scopo di estendere le aree utilizzabili a fini agricoli, ma anche, in alcuni casi, come metodo di controllo nei confronti di fenomeni erosivi o franosi lungo i versanti. Tali opere possono essere inoltre accompagnate da interventi di regimazione idraulica.

Il progressivo ridursi nel tempo delle attività agricole, che sui versanti terrazzati possono, ad oggi, essere considerate limitate a poche tipologie, ha tuttavia lasciato, anche nelle zone non più produttive, questi elementi caratteristici del paesaggio. I versanti terrazzati sono tuttavia caratterizzati da differenti equilibri rispetto a quelli naturali ed appare evidente la necessità di una costante attività di manutenzione (anche per quelli non più interessati da attività agricole) affinché non si innescino processi di degrado che possono trasformare il ruolo positivo svolto da questa sistemazione, a potenziale fattore di dissesto (Preti, 2001).

Numerosi lavori presenti in letteratura (tra questi Powrie et al., 2002; Brady e Kavanagh, 2002; Parco Nazionale delle Cinque Terre, 2004; Alejano et al., 2012a, 2012b) concentrano l'attenzione sulla stabilità del singolo manufatto a secco a partire dal quale è possibile ricondurre la complessa fenomenologia della loro instabilità sia ad aspetti legati alle caratteristiche costruttive, sia a fenomeni da

questi indipendenti, che hanno origine a seguito della costruzione stessa sia in conseguenza di cause naturali sia antropiche. L'attività di ricerca in cui si inserisce lo sviluppo delle attività sperimentali riassunte nella presente nota, nasce con l'intento di offrire un contributo alla comprensione dei fattori chiave che regolano tali equilibri a scala di versante, interpretando in un unico quadro l'interazione terreno-atmosfera, la circolazione idrica e gli aspetti geotecnici della stabilità delle opere di sostegno, considerando l'intero sistema del "versante terrazzato". Intento principale è quello di identificare gli aspetti critici sulla base dei quali orientare in maniera opportuna le attività manutentive degli stessi versanti terrazzati.

La caratterizzazione di un sistema così articolato ha richiesto l'utilizzo di un approccio multidisciplinare con competenze teoriche e sperimentali di natura topografica, idraulica, idrologica e geotecnica che hanno consentito l'implementazione di attività di caratterizzazione di un versante terrazzato scelto come riferimento e di monitoraggio di un muro campione mirante a stabilire il ruolo che i terrazzamenti svolgono sulla circolazione idrica superficiale e profonda, sui processi erosivi e di generazione dei deflussi nonché sulla stabilità dei muri di sostegno degli stessi terrazzi.

2. Il sito di riferimento

L'area di studio oggetto di indagine si trova nel comune di Greve in Chianti, Toscana, Italia, in località Lamole presso l'azienda agricola "Fattoria di Lamole" (Fig. 1).

L'area ha un'estensione di circa 6 ha e si trova ad una quota compresa tra 515 m s.l.m. e 579 m s.l.m. La pendenza media è compresa nell'intervallo $12 \pm 22\%$ e l'esposizione è prevalentemente ad Ovest. Il versante, dal punto di vista geolo-

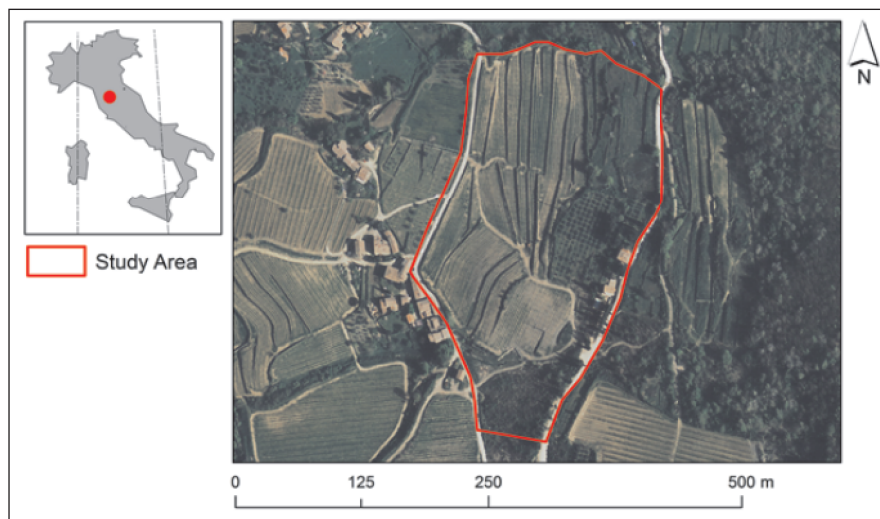


Fig. 1 - Area di studio

gico, si è sviluppato sulla formazione del Macigno del Chianti -Macigno A- caratterizzata da arenarie quarzosofeldspatiche spesso turbiditiche con intercalazioni di marne e argilliti. La pluviometria media annua assomma a 894 mm, tuttavia nel 2012 dal primo gennaio a fine aprile sono stati registrati 186 mm di pioggia e dal primo al 20 maggio 81 mm. Nel 2013, per gli stessi periodi, viceversa, sono caduti rispettivamente 461 e 92 mm.

Osservando i terrazzamenti il sito risulta essere di particolare interesse per la presenza di porzioni di muri a secco di origine storica, risalenti a prima del 1868 (iscrizione su pietra) in zona coltivata a vite prima del 1772 (cabreo aziendale) in un'area con insediamenti di epoca romana, intervallati da altri che, a seguito di una attività di ripristino iniziata nel 2002, sono stati di recente restaurati o costruiti ex-novo. Tale attività manutentiva è stata avviata a seguito del manifestarsi, lungo alcuni tratti, di crolli e spancamenti le cui cause non sono state finora identificate e investigate.

Il censimento di tutti i muri presenti ha permesso sia di rilevare le diverse tipologie costruttive sia le porzioni già interessate da crolli (principalmente nei muri di vecchia manifattura) e da evidenti fenomeni di spancimento, più o meno localizzato sull'intera altezza del muro (presenti sia sui muri di vecchia costruzione che su quelli di più recente realizzazione), fanno presupporre l'esistenza di una zona che potrebbe evolvere, con il passare del tempo, verso il collasso della struttura (Fig. 2).

È interessante sottolineare come nei muri di manifattura più antica non sono rilevabili componenti di un sistema di drenaggio strutturato (impossibile anche riconoscere le zanelle alla base del muro e le canalette al coronamento). Viceversa, nei muri di recente realizzazione sono, in genere, presenti dei dreni in materiale plastico a circa 2/3 (e a 1/3 e al piede le opere di maggiore altezza)



Fig. 2 - Rilievo DGPS dei tratti critici dei muri (cedimenti crolli, spancamenti)

dell'altezza del manufatto. I dreni tuttavia sono risultati in parte o totalmente occlusi da materiale terroso o da malta cementizia che è stata utilizzata per realizzare un elemento continuo verticale alle spalle dei manufatti.

I terrazzamenti sono tutt'ora interessati da una intensa attività agricola legata alla produzione di uva da vino (Chianti Classico), fatto che offre un contesto di analisi il più ampio e comprensivo possibile per quanto riguarda le sollecitazioni (passaggio dei mezzi agricoli, lavorazioni meccaniche del terreno) a cui il muro può essere soggetto.

3. Rilievo topografico ed applicazione di *RPII*

Nella primavera del 2013 è stata eseguita una scansione mediante laser scanner terrestre di un'estesa porzione dei terrazzamenti. È stato impiegato un laser scanner Riegl LMS Z620. Questo strumento "a tempo di volo" è caratterizzato da una grande distanza massima di acquisizione (fino a 2000 m, in condizioni atmosferiche di visibilità favorevoli) abbinata ad un'elevata velocità di acquisizione delle misure (fino a 11000 p.ti/sec), ad una notevole precisione media (5 mm) e ad un ampio campo visivo (80° in verticale e 360° in orizzontale). Mediante 6 differenti scansioni, sono stati acquisiti più di cinque milioni di punti, dai quali poi, è stato possibile ricavare modelli digitali del terreno (DTM) con risoluzione di cella di 50 cm e 20 cm. Tramite la generazione di DTM ad altissima risoluzione è stato possibile individuare le direzioni di deflusso e calcolare l'area drenata. In particolare si è voluto valutare come la sua distribuzione sui pendii terrazzati e coltivati a viti, possa essere influenzata dalla presenza dei terrazzamenti stessi. Per evidenziare eventuali punti di criticità si è applicato l'indicatore *RPII* (Relative Path Impact Index) proposto da Tarolli et al. (2013) che confronta l'area drenata, calcolata sul modello digitale del terreno effettivo, con quella calcolata su un modello del terreno riprocessato mediante apposito filtro, in modo da simulare l'assenza di alterazioni antropiche. Analiticamente l'indice è espresso secondo la seguente formula:

$$RPII = \ln\left(\frac{A_r - A_{sm}}{A_{sm}}\right)$$

dove A_r indica l'area drenata in presenza di alterazioni antropiche alla morfologia e A_{sm} rappresenta l'area drenata in assenza di modifiche alla morfologia.

Per conferire al versante un aspetto presumibilmente naturale rimuovendo le alterazioni morfologiche dovute agli interventi antropici, il DTM viene *smoothato* mediante un algoritmo che sfrutta la funzione quadratica bivariata proposta da Evans (1979). Valori elevati di *RPII* indicano una maggiore alterazione (un aumento) di area drenata a seguito di elementi antropici. Nella figura 3 viene mostrata una mappa dell'*RPII* ricavata a risoluzione di cella di 0.5 m. L'indice *RPII* prelude esattamente con valori elevati il tratto (punto 'a') crollato del muro e oggetto di indagine nel presente lavoro.

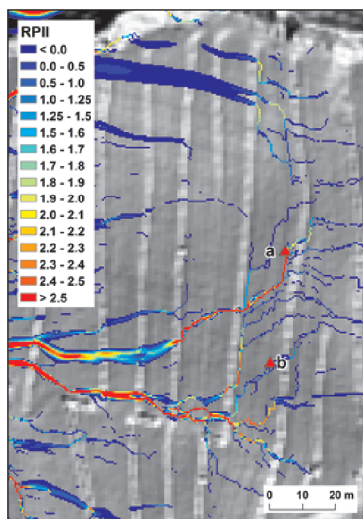


Fig. 3 - *Mapa dell'indicatore RPII ricavato con DTM di risoluzione 0.5 m. Il punto 'a' indica il tratto crollato del muro osservato con maggiore attenzione; il punto 'b' individua il tratto di muro con evidenti segni di cedimento*

4. Caratterizzazione idraulica e meccanica del suolo/terreno

La conoscenza della tessitura e delle proprietà idrauliche e meccaniche del terreno risulta fondamentale per poter schematizzare i processi legati al movimento dell'acqua nel suolo, all'infiltrazione, alle spinte esercitate sui muri.

Nel giugno 2012 sono stati prelevati campioni di terreno sui diversi terrazzamenti, fino alla profondità di 160 cm, per la determinazione della tessitura. Il suolo, secondo la classificazione USDA, risulta franco-sabbioso o sabbioso-franco (fino a 40 cm di profondità) e sabbioso-franco tra 40 e 50 cm e oltre. La presenza di scheletro è cospicua e non manca una frazione pietrosa anche di notevoli dimensioni.

Prove effettuate con infiltrometro (semplice e a doppio cilindro) condotte fino alla stabilizzazione, hanno permesso di ricavare valori della velocità d'infiltrazione stabilizzata variabili da 60 a 120 mm/ora.

Per la determinazione della conducibilità idraulica, poiché le misure con l'infiltrometro sono lunghe e poco rappresentative se condotte in numero esiguo su aree estese, si è deciso di adottare la tecnica Simplified Falling Head (SFH), proposta da Bagarello et al. (2004). Questa consente di eseguire un elevato numero di misure in tempi contenuti e, aspetto non secondario, con "oneri" modesti (attrezzatura semplice, determinazioni sul suolo ridotte, etc.). Si tratta, con un'unica prova d'infiltrazione a carico variabile misurando il tempo occorrente alla scomparsa di un tirante d'acqua creato all'interno di un cilindro infiltrometrico, di risalire alla conducibilità idraulica satura del suolo (K_{sf}). Unica condizione prescritta per effettuare i rilievi è che, nel corso delle prove, il fronte di bagnamento rimanga confinato nel volume di suolo delimitato dal cilindro. Questa condizione è soddisfatta se il volume d'acqua usato per la prova è inferiore o al più uguale al volume dei pori che, ante prova, sono occupati dall'aria.

A causa delle avverse condizioni meteorologiche che si sono protratte per

tutta la primavera-estate 2013 e che hanno determinato livelli elevati di umidità del terreno, non si sono potute ancora svolgere le numerose prove SFH previste. Si intendeva, infatti, effettuare le misure con infiltrometri di 25 cm di diametro su 3 allineamenti ortogonali ai muri e, con gli stessi criteri, replicare le prove sui diversi terrazzamenti con l'intento di analizzare i dati di K_{sf} tramite tecniche geostatistiche per verificarne la variabilità spaziale.

5. Monitoraggio di una porzione di muro campione

A fianco delle indagini sperimentali per la comprensione e l'approfondimento delle dinamiche del deflusso superficiale e della circolazione idrica a scala di versante è stato progettato il monitoraggio di un muro campione tra quelli disponibili presso il sito di Lamole. È stato scelto di monitorare un muro di nuova manifattura, completamente ricostruito di altezza oltre 2 m, e realizzato, così come condiviso dalle informazioni fornite, prevedendo alle spalle dello stesso un getto uniforme di magrone con una armatura a griglia intervallata solo dai alcuni fori (che per la maggior parte si sono rivelati occlusi come precedentemente evidenziato) a scopo di drenaggio. Tale muro presenta alcuni punti di spanciamiento a circa un terzo della sua altezza e può essere considerato rappresentativo dell'approccio costruttivo che ha guidato la ristrutturazione della maggior parte dei muri nel sito di Lamole.

Nella situazione più generale una verifica di stabilità geotecnica di un muro deve essere effettuata con riferimento al possibile scorrimento orizzontale, ribaltamento e sprofondamento della fondazione, nonché con riferimento ad un possibile scorrimento globale del terreno nel quale è inserito il muro stesso (di cui una esemplificazione schematica è riportata in figura 4).

Nel caso dei muri a secco si aggiunge anche la necessità di dover tenere in conto il fatto che il muro non può essere considerato un corpo rigido, ma la risposta alle sollecitazioni dipende fortemente dall'interazione reciproca dei blocchi di cui è costituito (principalmente meccanismo per attrito).

Instabilità globale, sprofondamento e ribaltamento richiedono, inoltre, alcune attenzioni differenti perché le attività di monitoraggio permettano di coglierne l'eventuale attivazione. Il caso di studio di Lamole ha tuttavia ragionevolmente consentito di operare la scelta di concentrarsi sull'opera di sostegno, tralasciando

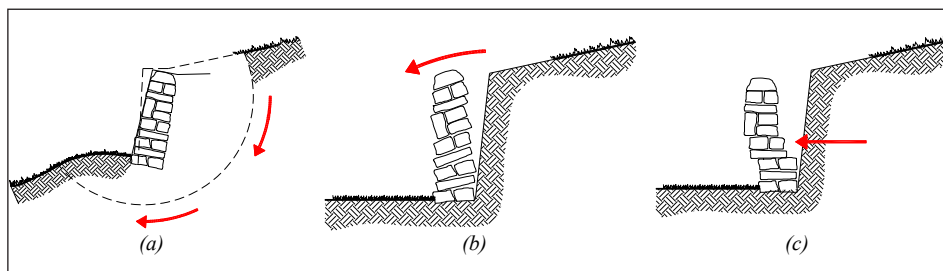


Fig. 4 - Esempi di meccanismi di rottura: (a) instabilità globale (b) ribaltamento (c) scorrimento

la stabilità globale, sia a seguito dell'osservazione diretta dei crolli già avvenuti sia a partire da quanto ottenuto da una serie di analisi numeriche preliminari.

A titolo esemplificativo, in figura 5, sono riportati i risultati ottenuti da due analisi ad elementi finiti FEM in ambiente ABAQUS® per valutare gli effetti della saturazione del terreno sulla stabilità di un muretto a secco di altezza 1.2 m (Fig. 5a), con sistema di drenaggio assente (o comunque presente e occluso). Il muro è stato descritto da un insieme di blocchi rigidi tra i quali è imposta una condizione di attrito lungo le superfici di contatto. Vengono confrontate le condizioni di terreno secco (Fig. 5b) e condizioni di terreno saturo (Fig. 5c). con falda in condizioni idrostatiche e livello piezometrico coincidente con il piano campagna, osservando come, nel secondo caso, il muro non sia più in grado di sopportare la spinta esercitata dal terreno con l'innescò di una rotazione dello stesso intorno al piede.

È stato pertanto ragionevolmente ritenuto lecito concentrare le attività di monitoraggio sui meccanismi di instabilità dell'opera di sostegno cercando di quantificare le spinte che agiscono su di essa nel corso del tempo e correlando questa informazione alla quantità di acqua presente nel terreno, al suo grado di saturazione e al regime delle pressioni interstiziali.

A tal scopo sono state installate alle spalle del muro (Fig. 6) due celle di pressione totale ad una profondità di 0.9 m e 1.80 m rispetto al piano campagna. Tali celle consentono di valutare la spinta totale che terreno e acqua esercitano sul muro nel campo di misura compreso tra 0 e 200 kPa con un'accuratezza dello 0.3% del fondo scala. Le celle sono state posizionate effettuando uno scavo alle

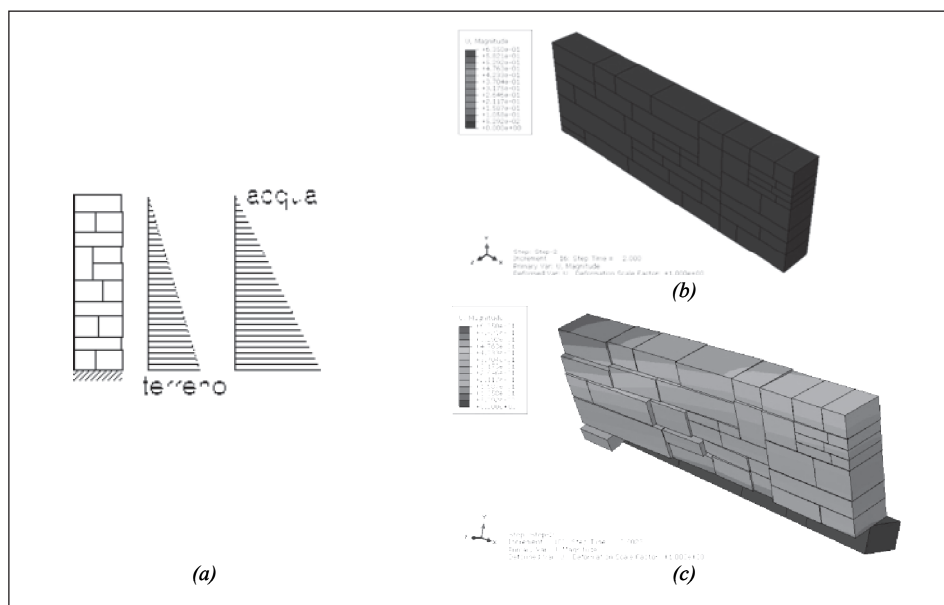


Fig. 5 - Analisi FEM preliminari di un muro in (b) condizioni secche e (c) condizioni sature: la differente gradazione di grigio indica il valore dello spostamento di ogni punto del muro

spalle del muro (che ha permesso inoltre di osservare l'effettiva presenza e consistenza del getto di magrone) successivamente richiuso con lo stesso materiale di scavo cercando di ripristinare la condizione iniziale. Si è scelto di non impiegare elevate energie di compattazione al fine di non compromettere la stabilità del muro sottostante.

La valutazione della quantità di acqua presente nel terreno deve essere effettuata tenendo in conto possibili condizioni di non saturazione in conseguenza della circolazione idrica superficiale e degli scambi idrici terreno-atmosfera. Pertanto sono stati installati due sistemi. Il primo è costituito da una serie di sonde capacitive SENTEK EnviroSMART® (Paltineanu, 1997) installate lungo una verticale il più prossima possibile alle spalle del muro (compatibilmente con lo spessore drenante in materiale grossolano che ha reso difficoltosa le operazioni di installazione), che consente di rilevare il contenuto in acqua volumetrico del terreno con un'accuratezza di $\pm 0,06\%$ del valore fornito. Il secondo (Fig. 7) è costituito da 4 piezometri a tubo aperto inseriti orizzontalmente a diverse profondità lungo l'altezza del muro, sfruttando la possibilità di accesso offerta dalle discontinuità tra una pietra e l'altra e dagli eventuali tubi di drenaggio. I piezometri sono stati dimensionati con riferimento ad una permeabilità media del terreno compresa negli intervalli indicati nei paragrafi precedenti e sono stati dimensionati in modo da ottenere un tempo di risposta che, comunque, possa mantenersi al di sotto dei 5 minuti anche in caso di permeabilità eccessivamente sovrastimate. La valutazione del tempo di risposta è stata effettuata utilizzando i coefficienti proposti da Goss e Youngs (1983). L'installazione dei piezometri ha previsto altresì la sigillatura delle potenziali vie di drenaggio dell'acqua che potrebbero essere state indotte dalla posa in opera.



Fig. 6 - Celle di carico installate alle spalle del muro



Fig. 7 - Piezometri per la rilevazione delle pressioni neutre

Un esempio dei risultati nel corso del primo periodo di monitoraggio (21/05/2013 – 13/08/2013) è riportato in figura 9 e in figura 10 che presentano, rispettivamente l'andamento nel tempo della variazione del contenuto in acqua volumetrico del terreno fino ad una profondità di 0.7 m dal piano campagna rispetto alla condizione iniziale al 21/05/2013, θ_0 , assunta come riferimento e della pressione totale agente alle spalle del muro.

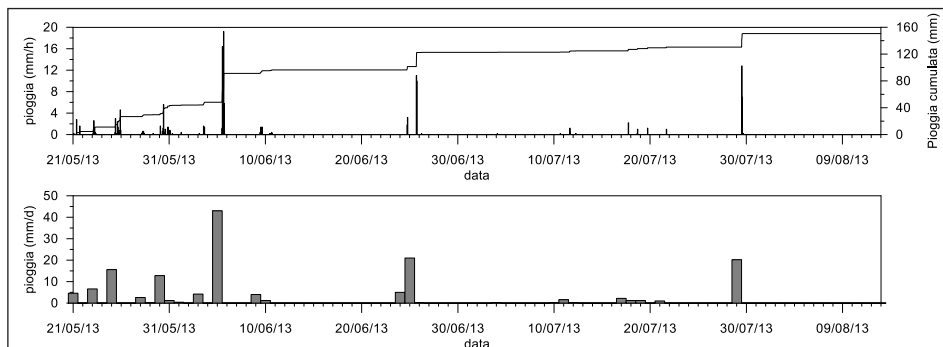


Fig. 8 - Risultati del monitoraggio dal 21 maggio 2013 al 13 agosto 2013: dati pluviometrici rilevati dalla stazione di LAMOLE del Servizio Idrologico Regionale Toscana

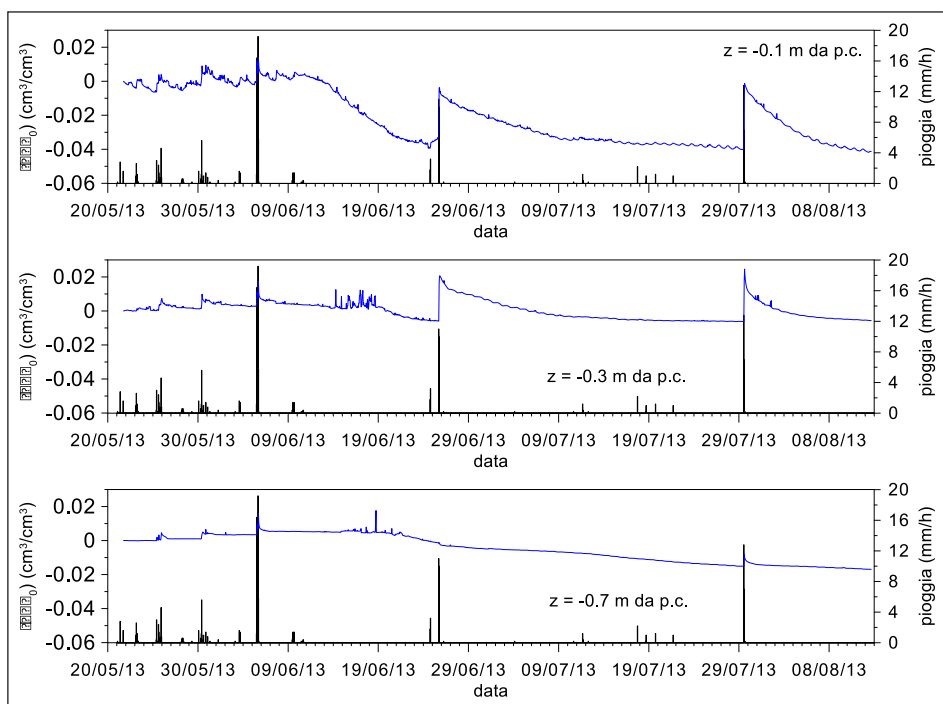


Fig. 9 - Risultati del monitoraggio dal 21 maggio 2013 al 13 agosto 2013: variazione del contenuto in acqua volumetrico alle quote indicate in figura e andamento della pioggia oraria rilevata dalla stazione di LAMOLE del Servizio Idrologico Regionale Toscana

I dati sono tutt'ora in fase di elaborazione. Tuttavia è possibile sottolineare come il confronto con il dato meteorologico, ed in particolare l'intensità di pioggia oraria riportata nella medesima figura (un riepilogo dell'informazione giornaliera è riportato anche in figura 8), evidenzia il fronte di infiltrazione che avanza nel terreno a seguito del verificarsi di eventi piovosi di intensità significativa e, viceversa, la tendenza alla diminuzione della quantità di acqua nel terreno a seguito di periodo in cui le precipitazioni sono assenti.

Analogamente, in figura 10 la rappresentazione dei valori forniti dalla cella di pressione più superficiale permette di osservare come agli eventi meteorici corrisponda un incremento delle spinte agenti alle spalle del muro, coerentemente con quanto è lecito attendersi a seguito di un aumento temporaneo del grado di saturazione del terreno. Sul lungo periodo è invece possibile apprezzare mediamente un andamento decrescente della spinta totale agente, in conseguenza della diminuzione del contenuto in acqua del terreno nella stagione estiva che le rilevazioni del contenuto in acqua rendono lecito assumere anche alla profondità di 0.9 m dal piano campagna.

Inoltre, sulla base delle informazioni a disposizione, effettuando una stima della spinta che ci si dovrebbe attendere in condizioni di terreno saturo, con linea di falda coincidente con il piano campagna alla medesima profondità di rilevazione si ottiene un valore di circa 13 kPa. Analoga stima in condizioni di terreno secco permette di ottenere un valore di 6 kPa. Tali valori, sebbene differenti hanno lo stesso ordine di grandezza di quelli rilevati dalla cella di pressione, sottolineando anche il fatto che queste stime non tengono in considerazione eventuali effetti di distacco del terreno dal muro che possono essere associati al fenomeno di desaturazione e che andranno sicuramente approfonditi.

6. Conclusioni e sviluppi futuri

È stata avviata una campagna di caratterizzazione di un versante terrazzato e il monitoraggio di un tratto di muro a secco campione per valutarne la risposta alle sollecitazioni cui è soggetto nel corso del tempo e l'instaurarsi di eventuali meccanismi di instabilità con un modello concettuale e numerico. Le informazioni legate al monitoraggio del muro campione potranno essere impiegate

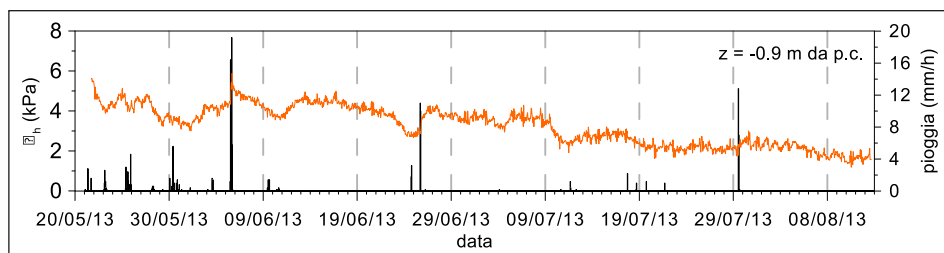


Fig. 10 - Risultati del monitoraggio dal 21 maggio 2013 al 13 agosto 2013: pressione totale registrata dalla cella a profondità di 0.9 m da p.c., e andamento della pioggia oraria rilevata dalla stazione di LAMOLE del Servizio Idrologico Regionale Toscana

per l'implementazione di un modello numerico per la valutazione della stabilità delle opere si sostengono che possa permettere di ottenere informazioni significative senza dover necessariamente ricorrere ad una più generale formulazione di un problema idro-meccanico completamente accoppiato in condizioni non saturate. Un approccio di questo tipo richiederebbe uno sforzo sperimentale notevole (in termini di tempi e di impegno economico) per l'ottenimento dei parametri per la descrizione del comportamento idromeccanico del terreno. Si potrà inoltre valutare di sostituire all'approccio ad elementi finiti impiegato per le analisi preliminari una modellizzazione ad elementi distinti che permetterebbe di ridurre l'onere computazionale in caso di strutture con blocchi pressoché rigidi interagenti quale quella dei muretti a secco.

In particolare il nodo da affrontare sarà legato alla valutazione della distribuzione delle spinte agenti alle spalle del muro che richiederà i necessari approfondimenti legati al fatto che si trova in condizioni non saturate.

Ringraziamenti

We thank the Fattoria di Lamole di Paolo Socci for granting us the access for the field surveys and for the great help for the experimental tests. This study has been supported by the following projects: PRIN 20104ALME4_002 Rete nazionale per il monitoraggio, la modellazione e la gestione sostenibile dei processi erosivi nei territori agricoli, collinari e montani, funded by the Italian Ministry of University and Research (MIUR) (prof. M.A. Lenzi research coordinator) and MONACO, funded by the Italian Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (MIPAAF) (prof. M. Agnoletti research unit).

Analysis resources were provided by the Interdepartmental Research Centre for Cartography, Photogrammetry, Remote Sensing and GIS, at the University of Padova—CIRGEO. Aerial LiDAR data were provided by the Ministry for Environment, Land and Sea (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, MATTM), within the framework of the Extraordinary Plan of Environmental Remote Sensing (Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale, PST-A).

Bibliografia

1. Alejano L. R., Veiga M., Taboada J., Díez-Farto M., *Stability of granite drystone masonry retaining walls: I. Analytical design*. Géotechnique, 62, 1013.1025, (2012a)
2. Alejano L. R., Veiga M., Gómez-Márquez I., Taboada J., *Stability of granite drystone masonry retaining walls: II. Relevant parameters and analytical and numerical studies of real walls*. Géotechnique, 62, 1027.1040, (2012b)
3. Bagarello V., Castellini M., Iovino M., *Influence of the pressure head sequence on the soil hydraulic conductivity determined with the tension infiltrometer*, Appl. Eng. Agric., 21, 383.391, (2005).
4. Bagarello V., Iovino M., *Conducibilità Idraulica del Suolo, Metodi di misura nelle applicazioni idrologiche*. Editore Ulrico Hoepli, Milano (2010).
5. Bagarello V., Iovino M., Cap. 5. Qualità fisica del suolo. In: V. Bagarello e V. Ferro (Ed.) Monitoraggio della qualità dei suoli e rischio di desertificazione. McGraw Hill (2012).
6. Bagarello V., Iovino M., Elrick D., *A Simplified Falling-Head Technique for Rapid Determination of Field-Saturated Hydraulic Conductivity*. Soil Science Society of America Journal, 68, 66.73, (2004)

7. Bagarello V., Sgroi A., *Using the simplified falling head technique to detect temporal changes in field-saturated hydraulic conductivity at the surface of a sandy loam soil*. Soil & Tillage Research, 94: 283.294 (2007)
8. Brady K. C., Kavanagh J., Analysis of stability of masonry faced earth retaining walls. Transport research laboratory report TRL 550 (2002)
9. Evans I.S., *An integrated system of terrain analysis and slope mapping*. Final report on grant DA-ERO-591-73-G0040, University of Durham, England. (1979)
10. Goss M. J., Youngs E. G., *The use of horizontal piezometers for in situ measurements of hydraulic conductivity below the water table*, Journal of Soil Science, 34, 659.664 (1983)
11. Paltineanu I. C. Starr J. L., *Real-time Soil Water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration*, Soil Science Society of America Journal, 61, 1576.1585
12. Parco Nazionale delle Cinque Terre, Manuale per la costruzione dei muretti a secco. Linee guida per la manutenzione dei terrazzamenti delle Cinque Terre. LIFE00 ENV/IT/000191 PROSIT (2004).
13. Preti F., 2001. Versanti terrazzati e dissesto idrogeologico, Congresso nazionale AIIA – Associazione Italiana di Ingegneria Agraria, “Ingegneria Agraria per lo Sviluppo dei Paesi Mediterranei”. Vieste del Gargano (FG), 11-14 settembre, 1-12, ISBN: 88-7427-001-1
14. Powrie W., Harkness R. M., Zhang X., Bush D. I., *Deformation and failure modes of dry-stone retaining walls*, Géotechnique, 52, 435.446, (2002).
15. Tarolli, P., Calligaro, S., Cazorzi, F., Dalla Fontana, G., *Recognition of surface flow processes influenced by roads and trails in mountain areas using high-resolution topography*, European Journal of Remote Sensing, 46, 176-197, doi:10.5721/EuJRS20134610, (2013).

